

Chapitre 5 : ETUDES EXPERIMENTALES

Effet photoélectrique

Effet Compton

Spectres d'émission

Loi de Moseley

NOTIONS GENERALES

Albert Einstein (physicien Allemand)

Fridz Hertz (physicien Anglais)

Max Planck (physicien Allemand)

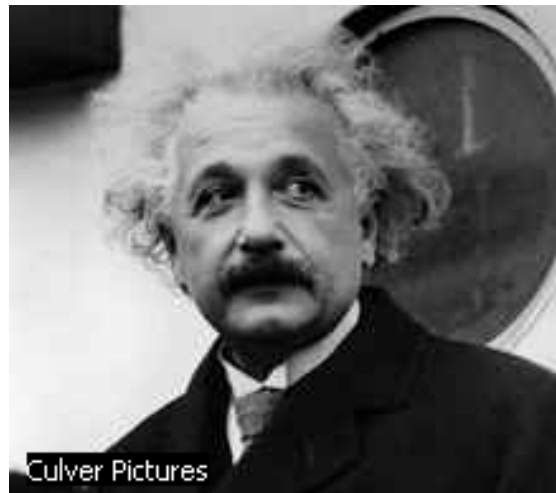
ETUDES EXPERIMENTALES

Lyman, Balmer, Brackett, paschen, Pfund
Ritz



© The Nobel Foundation

Arthur Holly Compton



Culver Pictures

Albert Einstein

Einstein, Albert (1879-1955), physicien américain d'origine allemande, prix Nobel de physique, connu pour ses travaux de l'effet photoélectrique et de la théorie de la relativité.

Compton, Arthur Holly (1892-1962), physicien américain. Prix Nobel en 1927 pour les travaux de polarisation et le spectre de rayon x

Moseley, Henry Gwyn Jeffreys (1887-1915), physicien anglais

Balmer, Johann Jakob (1825-1898), physicien et mathématicien suisse.

1- GENERALITES

Une lumière électromagnétique est caractérisée par sa longueur d'onde

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \text{ et par sa pulsation } \omega.$$

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi c}{\lambda}$$

L'échelle des longueurs d'ondes électromagnétiques pouvant être classées comme il est indiqué par la figure 38.

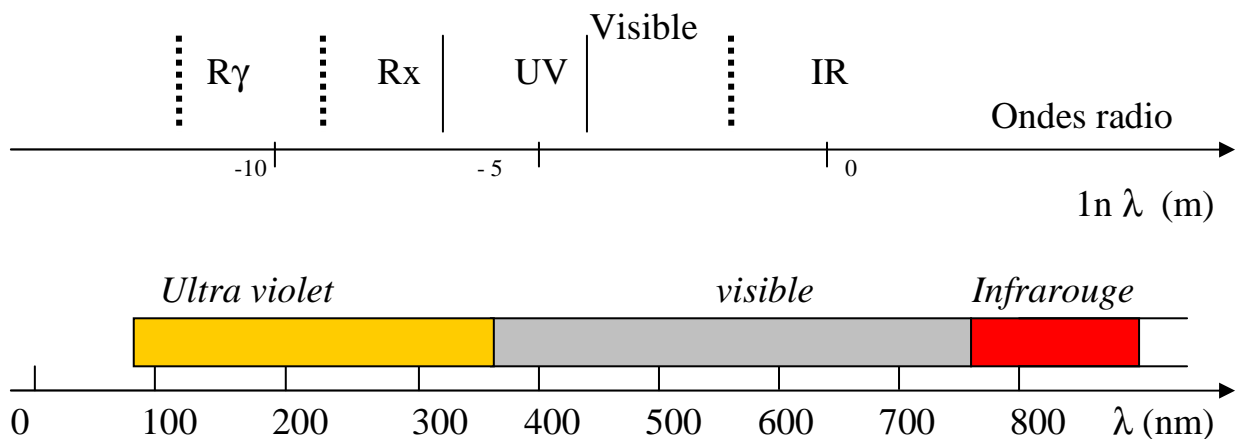
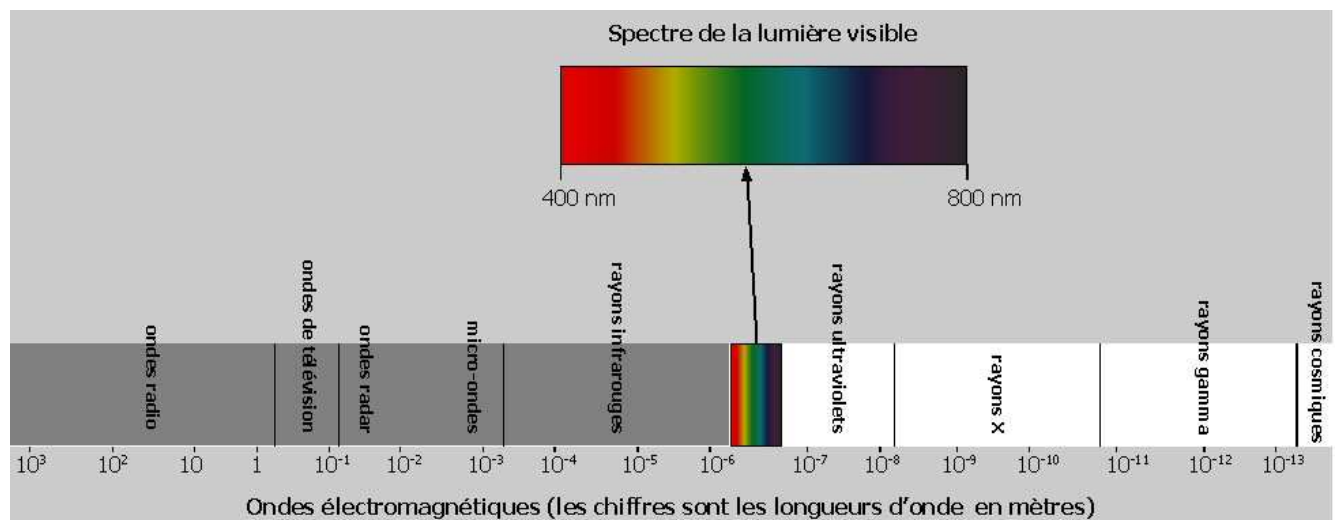


Figure 38 : a- Echelle logarithmique de λ (en mètre) des ondes électromagnétiques.
b- Placement de l'UV, Visible et IR dans l'échelle des longueurs d'onde en mètre



L'énergie d'un rayonnement de pulsation ω est donnée par l'expression suivante

$$E = \frac{h\omega}{2\pi}, \quad \frac{h}{2\pi} = \hbar \quad \hbar \text{ est la constante réduite de Planck.}$$

$$h = 1,0545887.10^{-34} \text{ J.s}$$

$$E = \hbar\omega$$

2- SPECTRE D'ABSORPTION ET D'EMISSION DE L'ATOME D'HYDROGENE

En 1885 Johann Balmer obtint expérimentalement le spectre discret émis des atomes d'hydrogène. A partir duquel il établissait une relation empirique qui lie les nombres d'ondes aux quatre radiations les plus distinctes, situées à 410, 434, 486 et 665 nm. D'autres raies de très faibles intensité pouvant aller jusqu'à jusqu'à la longueur d'onde limite, $\lambda_1 = 365 \text{ nm}$ ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$).

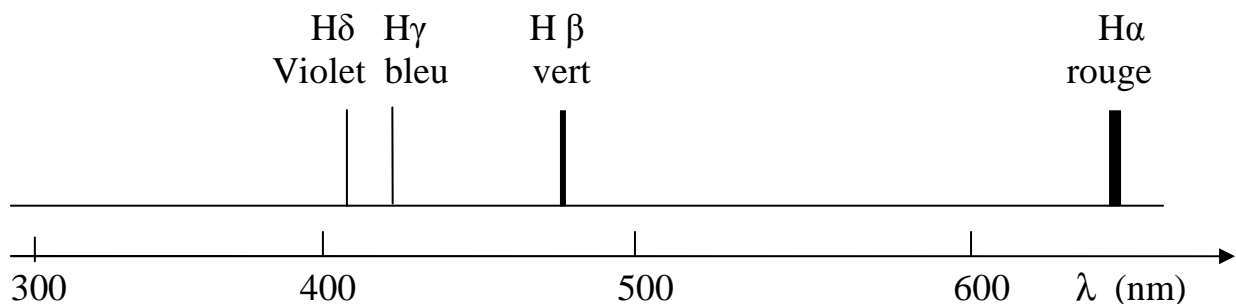


Figure 39 : Spectre d'émission de H_2

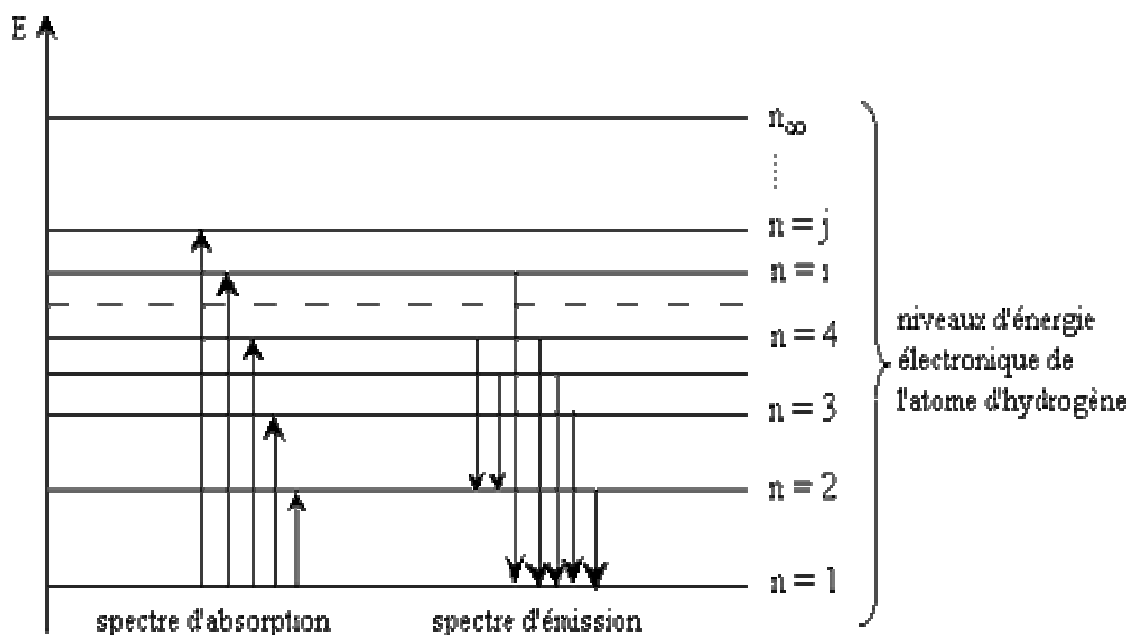


Figure 40 :  mission et absorption de la lumière.

Cette relation est donnée sous la forme suivante :

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{p^2} \right)$$

$\bar{\nu}$ est le nombre d'onde (m^{-1})

p est le niveau supérieur ($p > 2$)

R_H est la constante de Rydberg pour l'atome d' H_2 . Elle vaut $1,09677 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$.

Balmer a étudié la série de raies relatives aux niveaux :

$$\begin{cases} n = 2 & \text{niveau inférieur} \\ p = 3, 4, 5, 6. & \text{niveaux supérieurs} \end{cases}$$

$\nu = \frac{1}{\lambda} = \frac{R_H}{p^2}$, le rapport $\frac{R_H}{n^2}$ est appelé terme spectral représenté par T_n .

$$\bar{\nu} = T_n - T_p \quad \frac{R_H}{p^2} = T_p \text{ est l'autre terme spectral supérieur.}$$

Les raies observées correspondent aux transitions :

$$\begin{array}{ll} - n = 2 \rightarrow p = 3 & \text{ou } p = 3 \rightarrow n = 2 \\ - n = 2 \rightarrow p = 4 & p = 4 \rightarrow n = 2 \\ - n = 2 \rightarrow p = 5 & p = 5 \rightarrow n = 2 \\ - n = 2 \rightarrow p = 6 & p = 6 \rightarrow n = 2 \end{array}$$

Autres raies ont été observées plutard, il s'agit de :

- La série de Lyman (1906) $n = 1 \rightarrow p (2,3,4,5\dots)$
- La série de Paschen (1908) $n = 3 \rightarrow p (4,5,6,7\dots)$
- la serie de Brackett (1922) $n = 4 \rightarrow p (5,6,7,8\dots)$
- La série de Pfund (1924) $n = 5 \rightarrow p (6,7,8,9\dots)$

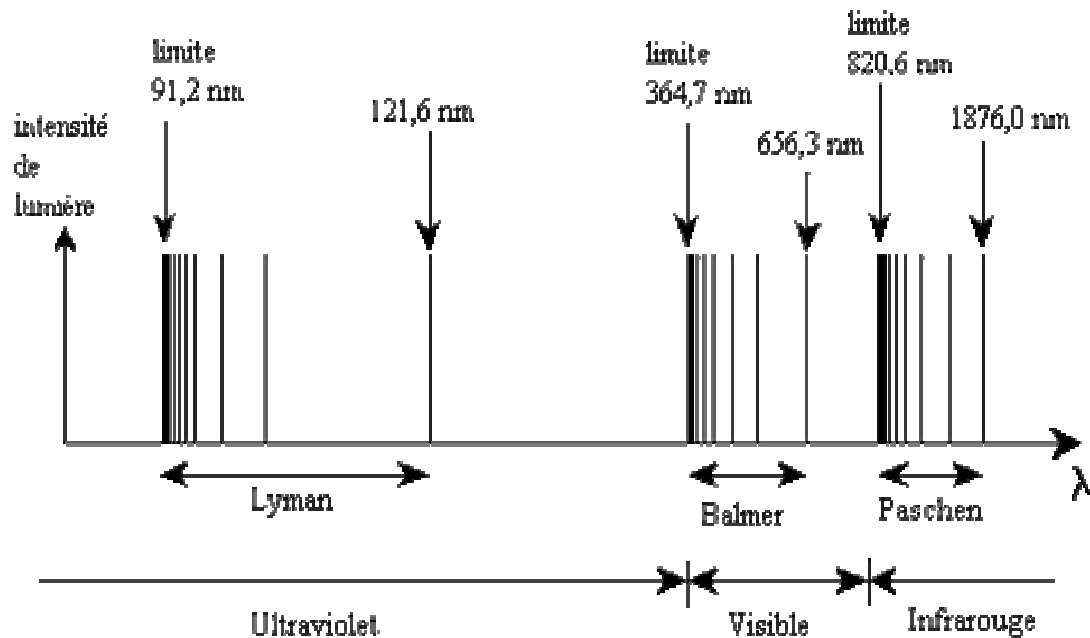
Toutes ces séries possèdent les mêmes caractéristiques que celle de Balmer et présentent des raies extrêmes ou limites, parfois on les appelle raies tête et fin de série. Ritz généralisa la formule de Balmer l'ensemble de ces raies.

$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{p^2} \right)$ où n est le niveau inférieur qui définit la nature de la série, p est le niveau supérieur.

$$\left. \begin{array}{l} \lambda_1 \rightarrow 2 = 121 \text{ nm, tête de série} \\ \lambda_1 \rightarrow \infty = 91 \text{ nm, fin de série} \end{array} \right\} \text{ Lyman}$$

série raie lim.	Lyman	Balmer	Paschen	Brackett	Pfund
λ_1	121 nm	656 nm	1876 nm	4052 nm	7460 nm
λ_∞	91 nm	364 nm	821 nm	1459 nm	2279 nm
Domaine spectral	UV	visible	IR proche	IR moyen	IR lointain

Tableau 4 : raies limites du spectre d'hydrogène

Figure 41 : spectre discret de H_2

3- EFFET PHOTOÉLECTRIQUE ET EFFET COMPTON

3.1 Effet photoélectrique.

La nature ondulatoire de la lumière n'a pas pu expliquer le phénomène de l'effet photoélectrique. C'est suite aux travaux d'Einstein que la lumière est présentée comme un ensemble de grain d'énergie dits photons dont l'énergie est proportionnelle à la fréquence. En 1921, il obtient le prix Nobel sur ces travaux. Une surface irradiée par une lumière produit des photoélectrons. La nature du métal est responsable de l'énergie d'extraction. Quand l'énergie incidente dépasse l'énergie de liaison de l'électron-métal on observe à ce moment là l'apparition du courant électrique dans le circuit du montage expérimental. Le

phénomène est ramené aux électrons libres que possèdent les métaux par le fait de la propriété conductrice (présence d'électron dans la bande de conduction). Le bilan énergétique entre l'énergie incidente sous forme de lumière ($h\nu$) et l'énergie d'extraction du métal ($h\nu_0$) détermine l'éventualité du photoélectron ou l'excitation tout simplement du métal. Le courant enregistré dépend de la fréquence du rayonnement incident

- $h\nu > h\nu_0$, il y a effet photoélectrique. L'excès d'énergie se transforme en énergie cinétique.
- $h\nu < h\nu_0$, il y a excitation du métal

le bilan énergétique

$$h\nu = h\nu_0 + \frac{1}{2}mv^2$$

Le courant électrique disparaît si on ajoute au montage un potentiel de retard (U). L'expérience a conduit à la détermination expérimentale de la constante de Planck. La première mesure a été effectuée par Robert Millikan, en 1916.

$$h\nu = h\nu_0 + eU$$

$$h_{th} = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$h_{exp} = 6,626176 \cdot 10^{-34} \text{ J.s,}$$

Le phénomène a été élargi à d'autres éléments susceptibles d'avoir des électrons dans la bande de conduction y compris les semi-conducteurs modifiés par dopage. L'application a été large est intéressante telle que la production d'énergie par le biais de la fabrication des panneaux solaires, l'ouverture des portes etc.....

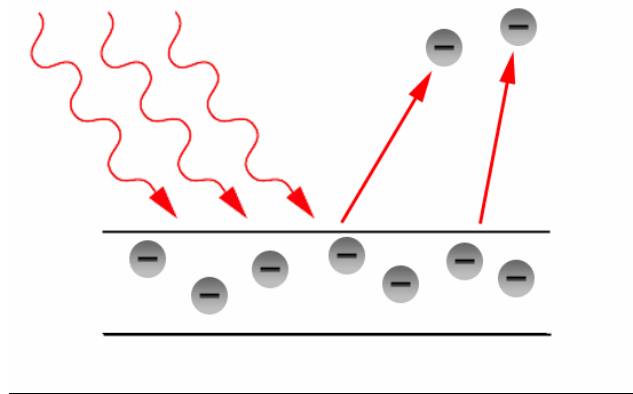
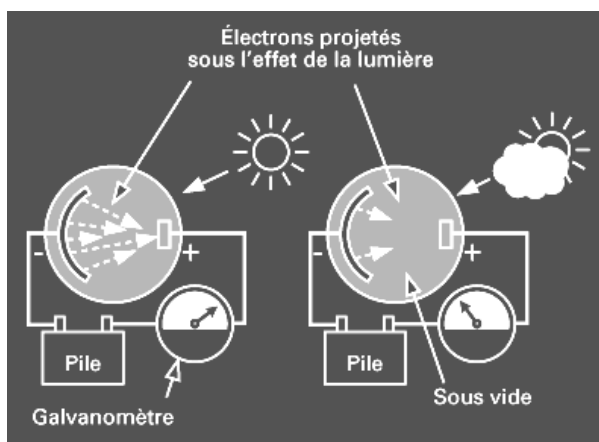


Figure 42 : Le nombre de photoélectrons est proportionnel à la fréquence de la lumière incidente

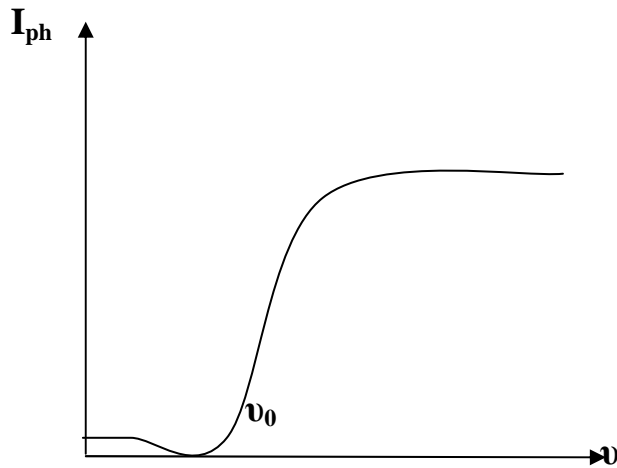


fig.43 : courant en fct de la fréquence

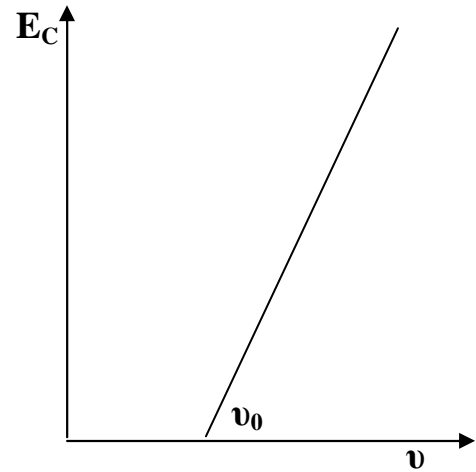
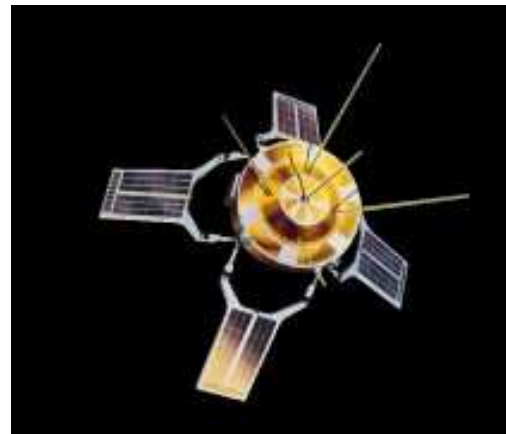
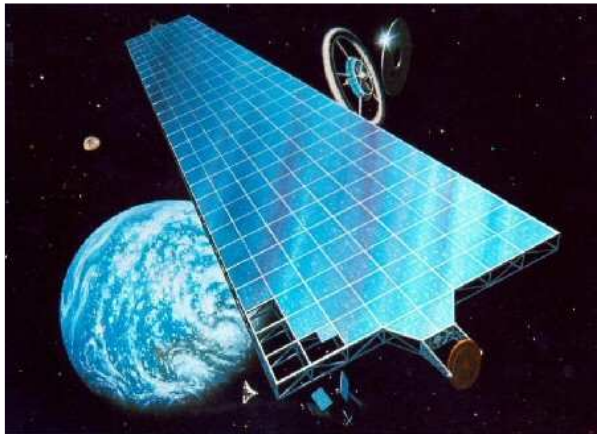


fig.44 : travail d'extraction



Alimentation des équipements de satellites par effet photoélectrique

3.2 Effet Compton

Arthur Compton physicien américain confirme 18 ans plus tard l'existence de l'aspect corpusculaire de la lumière en apportant sa contribution à l'explication de l'effet photoélectrique. L'effet Compton proposé par Compton en 1923 après une étude expérimentale d'un rayonnement électromagnétique incident sur un atome obtint une onde réfléchie dont la longueur d'onde est supérieure à la première. Cette différence relève de la quantité de mouvement que le photon a transmis à l'atome ou encore à la perte d'énergie que l'onde a partiellement transmise à l'électron. L'exemple d'une boule de billard qui cible une autre boule. La diminution donc de l'énergie de l'onde réfléchie se traduit par l'augmentation de sa longueur d'onde et par conséquent l'angle qui provoque l'élargissement de cette onde réfléchie. Cette découverte a confirmé la nature corpusculaire du rayonnement électromagnétique qu'Einstein avait annoncé en étudiant l'effet photoélectrique. La diffusion Compton touche les électrons faiblement liés, voire libres.

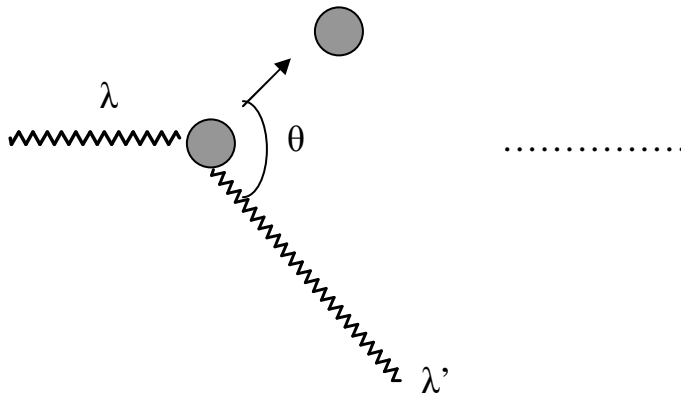


Figure 45 : diffusion Compton

$$\lambda = \lambda' + \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\theta) \approx \lambda' + 0,002426(1 - \cos\theta) \text{ en nm}$$

Le rapport entre la constante de Planck et la masse de l'électron multipliée par la vitesse de la lumière c ($h/m_e c$) vaut 0,2426 nm.

4- LOI DE MOSELEY

Depuis qu'il fut annoncé que les éléments peuvent avoir une relation avec la masse atomique, Moseley étudia les spectres d'émission de quelques éléments au moyen des rayons X. en 1913, il propose une relation entre la fréquence des raies spectrales et le numéro atomique de l'élément. L'étude a conduit à la confirmation spectrale des différents éléments et a ouvert le domaine de la recherche à de nouveaux éléments et cependant à l'analyse qualitative des éléments. La loi de Moseley est une loi expérimentale qui lie le nombre d'onde au numéro atomique des éléments à partir des raies d'émission dans le spectre des rayons X.

$$A^2 = \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{p^2} \right)$$

$$\sqrt{\frac{\nu'}{R}} = A(Z - o)$$

σ est la constante d'écran

$\sigma_K = 1$ pour la série K ($n=1$)

$\sigma_K = 7,4$ pour la série L ($n=2$)

Figure 46: Spectres de quelques éléments



EXERCICES CORRIGES

5-1 Calculer les longueurs d'onde des 6 premières raies du spectre de l'hydrogène pour:

$n = 1$ (série de Lyman).

$n = 2$ (série de Balmer).

En se référant à l'échelle des ondes électromagnétiques donner le domaine spectral qui englobe ces raies?

On donne : $R_H = 1,1 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$

5-2 La première raie de la série de Balmer dans le spectre de l'atome d'hydrogène a pour longueur d'onde $\lambda = 6562,8 \text{ \AA}$, déterminée à 1/10 d'Angström près. En déduire la constante de Rhydborg en cm^{-1} , en précisant l'erreur absolue sur la valeur trouvée.

5-3 Une cellule photoélectrique réagit pour une longueur d'onde maximale de 680 nm. Quelle est l'énergie nécessaire en eV pour extraire un électron de la photocathode ? Si l'on éclaire cette cathode avec une radiation de longueur d'onde 400 nm, quelle est la vitesse maximale des photoélectrons émis ?

5-4 Un rayonnement lumineux faisant partie du domaine de l'infra-rouge ayant pour longueur d'onde 670 nm produit des photoélectrons. Le métal possède un

potentiel de retard de 0,5 V. Quels sont le travail d'extraction et le seuil photoélectrique de ce métal.

5-5 Lorsqu'un rayonnement électromagnétique monochromatique de longueur d'onde 450 nm parvient sur une surface de césium métallique, des électrons sont émis avec une énergie égale au maximum à 1,10 eV.

1) De quelle expérience s'agit-il ? Quelle est l'énergie nécessaire pour extraire un électron d'un cristal de césium $_{55}\text{Cs}$ en eV et joules ?

2) Quelle est la vitesse maximale des électrons émis ?

3) Pour quelle longueur d'onde incidente leur vitesse serait-elle nulle 4) On utilise le césium métallique comme surface photosensible dans des cellules photoélectriques. Dans quel domaine de longueur d'onde peut-on l'utiliser? On donne $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$